

УДК 616.36-006-085:614.2

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-4-57-65>

© Буровик И.А., Прохоров Г.Г., 2019 г.

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ КАК МЕТОД КОНТРОЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЧРЕСКОЖНОЙ ПУНКЦИОННОЙ КРИОАБЛЯЦИИ ОПУХОЛЕЙ

*И. А. Буровик\*, Г. Г. Прохоров*

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н. Н. Петрова, Санкт-Петербург, Россия

**Цель:** разработка методологических аспектов применения КТ как способа навигации и контроля при криоабляции опухолей. **Материалы и методы.** В исследование были включены 38 пациентов со злокачественными новообразованиями различной локализации, которым было выполнено 58 процедур криоабляции с применением КТ-навигации. КТ контроль выполняли в последовательном режиме, в режиме КТ-флюороскопии или в качестве элемента робот-ассистированных операций. Оценивались точность позиционирования кризондов и возможность визуального контроля формирования ледяного шара. **Результаты:** в процессе всех процедур криоабляции применение КТ позволило точно установить кризонды в опухоль и в большинстве случаев визуально контролировать процесс образования ледяной сферы. **Заключение:** КТ представляется оптимальным способом лучевой визуализации при криоабляции, позволяющим обеспечить как контроль позиционирования кризондов в опухоль, так и процесса распространения ледяного фронта. В зависимости от особенностей опухоли, технической оснащенности и опыта оператора может быть выбран тот или иной способ КТ навигации инструментов.

**Ключевые слова:** криоабляция опухолей, навигация при криоабляции, КТ в онкологии

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Буровик И.А., Прохоров Г.Г. Компьютерная томография как метод контроля проведения чрескожной пункционной криоабляции опухолей // *Лучевая диагностика и терапия*. 2019. Т. 10, № 4. С. 57–65, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-4-57-65>.

Контакт: Буровик Илья Александрович, [burovick\\_ilya@mail.ru](mailto:burovick_ilya@mail.ru)

© Burovik I.A., Prokhorov G.G., 2019

## COMPUTED TOMOGRAPHY AS A METHOD OF CONTROL OF PERCUTANEOUS TUMOR CRYOABLATION

*Iliya A. Burovik\*, Georgiy G. Prokhorov*

N. N. Petrov National Medical Research Center of Oncology, St. Petersburg, Russia

**Purpose:** to develop methodological aspects of CT navigation and control of tumor cryoablation. **Methods and materials.** The study included 38 patients with malignant neoplasms of different localization, who underwent 58 cryoablation procedures with CT navigation. CT control was performed in sequential mode, in the mode of CT fluoroscopy or as an part of robot-assisted operations. The accuracy of cryoprobe positioning and the possibility of visual control of the ice-ball propagation were evaluated. **Results:** in all cases of cryoablation the use of CT made it possible to install accurately cryoprobes in the tumor and visually control the formation of the ice-sphere. **Conclusion:** CT is the optimal method of image guidance for cryoablation, which allows to control both the positioning of cryoprobes in the tumor and the process of ice front propagation. Depending on the characteristics of the tumor, technical equipment and experience of the operator, one or another method of CT navigation of instruments can be chosen.

**Key words:** tumor cryoablation, image-guided cryoablation, CT in oncology

**Conflict of interest:** the authors stated that there is no potential conflict of interest.

**For citation:** Burovik I.A., Prokhorov G.G. Computed tomography as a method of control of percutaneous tumor cryoablation // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2019. Vol. 10, No. 4. P. 57–65, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2019-10-4-57-65>.

Contact: Burovik Iliya Aleksandrovich, [burovick\\_ilya@mail.ru](mailto:burovick_ilya@mail.ru)

**Введение.** Методы чрескожной аблации являются миниинвазивной альтернативой хирургическим вмешательствам при опухолях различной локализации. При данном подходе выполняют введение в новообразование электрода/зонда под контролем лучевых методов визуализации. В результате воздействия высокой, низкой температуры или других физических факторов возникает некроз опухоли и небольшой зоны прилежащей нормальной ткани органа. Очевидные преимущества и демонстрируемая в многочисленных клинических исследованиях эффективность применения миниинвазивных аблативных методик обуславливают все более широкое их использование в онкологии [1–4].

Наиболее распространенными термическими методами аблации являются радиочастотная (РЧА), микроволновая и криоаблация (КА). В основе последней лежит сверхбыстрое замораживание ткани, приводящее к гибели опухолевых клеток [5, 6]. Танатогенез опухолевой ткани обусловлен прямым цитолитическим действием, связанным с разрушением клеточных мембран, апоптозом клеток и развитием в зоне криовоздействия микроциркуляторных нарушений, приводящих к ишемии и дальнейшему некрозу опухоли [5].

К преимуществам криовоздействия над другими аблативными методиками необходимо отнести возможность одновременного использования нескольких криозондов, что позволяет провести деструкцию крупных образований, имеющих сложную конфигурацию [7]. Также, в отличие от РЧА, КА сопровождается развитием более выраженного иммунного ответа, обусловленного резорбцией некротизированной опухолевой ткани, антигенная структура которой полностью не разрушается в результате воздействия низкой температуры [8, 9]. Наконец, при КА формируется ледяная сфера, которая может быть эффективно мониторируется методами лучевой визуализации. В связи с этим криодеструкция представляется методом выбора при локализации опухоли вблизи важных анатомических структур, повреждение которых может привести к серьезным послеоперационным осложнениям.

Компьютерная томография (КТ) является одним из методов контроля проведения миниинвазивных вмешательств. КТ-мониторинг может проводиться в различных вариантах: в последовательном режиме, в режиме КТ-флюороскопии или в качестве элемента робот-ассистированных операций [10].

**Целью** представленного исследования явилась разработка методологических аспектов применения КТ как способа навигации и контроля при КА опухолей.

**Материалы и методы.** В ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н. Н. Петрова» Минздрава России в период с 2017 по 2019 г. было выполнено 56 операций по криоаблации первичных и вторичных опухолей различной локализации у 38 больных (таблица). Из них 16 (42%) мужчин и 22 (58%) женщин в возрасте от 40 до 87 лет.

Таблица

## Характеристика типа опухолей

Table

## Characteristics of the tumor type

Локализация опухолевого очага	Гистологический тип	Количество пациентов	Количество КА
Почка	Рак почки	28	34
Кость	Рак легкого	1	2
	Рак молочной железы	2	3
	Рак яичников	1	3
	Остеогенная саркома	1	9
Легкое	Рак легкого	1	1
	Саркома мягких тканей	2	2
Мягкие ткани	Рак молочной железы	1	1
	Саркома мягких тканей	1	1
Итого		38	56

Как видно из таблицы, наибольшее число операций было проведено по поводу рака почки ( $n=34$ ) и опухолевого поражения костей ( $n=17$ ).

Размеры опухолей варьировали от 12 до 87 мм (в среднем  $31 \pm 8$  мм).

Потенциальная возможность выполнения КА оценивалась интервенционным радиологом по ранее полученным данным компьютерной или магнитно-резонансной томографии. Решение о проведении операции принималось по результатам обсуждения клинического случая мультидисциплинарной комиссией в составе онколога, интервенционного радиолога, анестезиолога, а также в некоторых случаях химиотерапевта и радиолога.

Объем предоперационного обследования был стандартным для хирургического вмешательства.

В 38 случаях операция проводилась под общей анестезией, в 11 — под местной, в 7 случаях — с применением сочетанной анестезии.

Для выполнения КА использовалось следующее медицинское оборудование:

- медицинская криотерапевтическая система (МКС) с криозондами диаметром 1,5 и 3 мм;
- компьютерный томограф Ingenuity (Philips), оснащенный функцией КТ-флюороскопии;
- роботизированная приставка к компьютерному томографу Maxio (Perflint);
- вакуумный матрас.

**Методики КТ-навигации инструментов при КА.** В условиях КТ-операционной пациента размещали на столе компьютерного томографа. В случае проведения операции под общей анестезией выполнялась интубация трахеи и пациента вводили в наркоз. Далее в зависимости от предполагаемого оптимального доступа к очагу поражения больного располагали соответствующим образом (на

спине, на животе, на боку) и фиксировали с помощью вакуумного матраса. Выполнялось КТ-сканирование со следующими параметрами: 200 mAs, 120 kV. Осуществлялось предоперационное планирование: оценивалась предполагаемая зона криоабляции, определялось необходимое число криозондов нужного диаметра, выстраивались оптимальные траектории их введения. Далее выбирали методику навигации инструментов в зависимости от глубины расположения опухолевого очага, его смещаемости при дыхании, выраженности отклонения траектории криозондов по осям  $z$  и  $y$  и рисков повреждения соседних органов и крупных сосудов. При очагах поражения, доступ к которым не был сопряжен с высоким риском осложнений в случае многократных попыток пункций и возможного отклонения инструмента от планируемой траектории, применялась методика КТ-контроля в последовательном режиме; при сложных траекториях установки инструментов и относительно высоком риске повреждения соседних структур отдавалось предпочтение методике КТ-флюороскопии и робот-ассистированным вмешательствам.

**Методика КТ-навигации в последовательном режиме.** По данным предоперационного сканирования определяли значение положения стола томографа соответственно оптимальным точкам введения криозондов. Пациента размещали в апертуре гентри томографа на уровне плоскости установки одного из инструментов. В случае выполнения операции под местной анестезией производили обезболивание. Периодически осуществляя аксиальные сканы без перемещения стола томографа, последовательно продвигали комплект направляющих инструментов (интродьюсер со стилетом) к опухолевому очагу (параметры сканирования: 50–150 mAs, 120 kV). При этом в момент сканирования врач не находился в зоне лучевого воздействия. Таким образом добивались достижения комплектом направляющих края образования. В случае бластического характера поражения кости и невозможности ее перфорации с помощью стилета использовали дрель. Далее стилет извлекали и через интродьюсер с помощью биопсийного пистолета выполняли забор материала для патоморфологического исследования (2–3 столбика ткани). В случае планирования применения нескольких криозондов подобным же образом устанавливали второй и третий комплект направляющих. Далее стилеты извлекали и через интродьюсеры зонды вводили в опухоль. После этого производили контрольное КТ-сканирование планируемой зоны абляции для контроля расположения инструментов.

**Методика навигации в режиме КТ-флюороскопии.** В целом при установке комплекта направляющих инструментов и криозондов под контролем КТ-флюороскопии порядок действий был сходным с таковым при последовательном режиме КТ-нави-

гации, однако сам этап введения стилета был более контролируемым. Этого достигалось за счет того, что при операциях под КТ-флюороскопией в процессе сканирования врач находился в рентгенозащитной одежде около пациента в зоне облучения и проводил процедуру в режиме реального времени (параметры сканирования: 25 mAs, 120 kV). Нажатие педали управления приводило к формированию трех КТ-изображений — центрального, краиниального и каудального. При этом при сканировании перемещения стола не происходило. Это позволяло быстро сориентироваться относительно положения инструмента и его возможного отклонения от намеченной траектории.

**Методика робот-ассистированной КТ-навигации.** Для предотвращения облучения медицинского персонала и повышения эффективности интервенционных процедур активно разрабатываются различные механические и электронные вспомогательные системы КТ-навигации. Основой работы роботизированных приставок для интервенционных вмешательств под КТ-контролем является обеспечение необходимой траектории (которая может отклоняться по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) и глубины введения инструмента.

Сама процедура установки инструментов для криодеструкции выполнялась следующим образом. Пациента вводили в наркоз. Искусственную вентиляцию легких проводили минимальным объемом газовой смеси для снижения дыхательных экскурсий и смещения внутренних органов. После укладки и фиксации пациента осуществляли предоперационное сканирование. Полученную серию изображений передавали на консоль роботизированной приставки Махио. Производили разметку на экране навигационной системы: для каждого из комплектов инструментов задавали точку вкола, цель, определяли безопасную траекторию и глубину введения. После этого рука-манипулятор интервенционной системы автоматически позиционировалась под необходимым углом над поверхностью тела пациента в область точки вкола. Через специальную пластиковую проставку, фиксированную в руке-манипуляторе, последовательно выполняли введение заданного количества комплектов направляющих инструментов. Далее выполняли контрольное сканирование и в случае удовлетворительного положения интродьюсера стилеты извлекали. Производили трепанобиопсию. После этого устанавливали криозонды. Осуществляли повторный КТ-контроль расположения инструментов.

**Криоабляция.** Процедура КА включала два цикла охлаждения до температуры  $-190^{\circ}\text{C}$  с экспозицией до 10 мин. Между циклами выполнялся активный или пассивный отогрев опухоли до температуры  $-40^{\circ}\text{C}$ . После второго цикла замораживания отогрев осуществляли в пассивном режиме.

Контроль формирования ледяного шара проводился путем периодических (до 10 раз за процедуру

абляции) сканирований без перемещения стола томографа с получением одномоментно от 3 до 8 изображений (параметры сканирования: 50–150 mAs, 120 kV). В случае мягкотканых новообразований на томограммах ледяная сфера определялась в виде эллипса пониженной относительно соседних тканей плотности. Критерием полноты абляции считали полное перекрытие объема опухоли ледяным шаром с распространением на окружающие интактные ткани не менее чем на 3 мм. В случае бластических метастазов в костях лед внутри кости визуализировать не удавалось. В этом случае длительность операции определяли эмпирически или путем установки термодатчика парависцерально на уровне очага поражения.

После процедуры КА выполняли КТ-сканирование с целью контроля послеоперационных осложнений.

**Результаты и их обсуждение.** В процессе всех операций КА применение КТ позволило точно установить кризонды в опухоль и в случаях абляции мягкотканых новообразований визуально контролировать процесс формирования ледяной сферы.

В зависимости от локализации опухоли применение способов КТ навигации имело следующее распределение: при криодеструкции новообразований в костях использовали последовательный режим КТ-контроля, при опухолевых очагах в легких — режим КТ-флюороскопии, при абляции образований в почках в 18 случаях применяли последовательный способ КТ-навигации, в 11 — КТ-флюороскопию, в 5 случаях выполнялась робот-ассистированная операция.

из новообразования, что потребовало проведения видеоторакоскопии и эвакуации гемоторакса.

Методики применения КТ при КА могут быть проиллюстрированы следующими клиническими примерами.

#### Клиническое наблюдение № 1

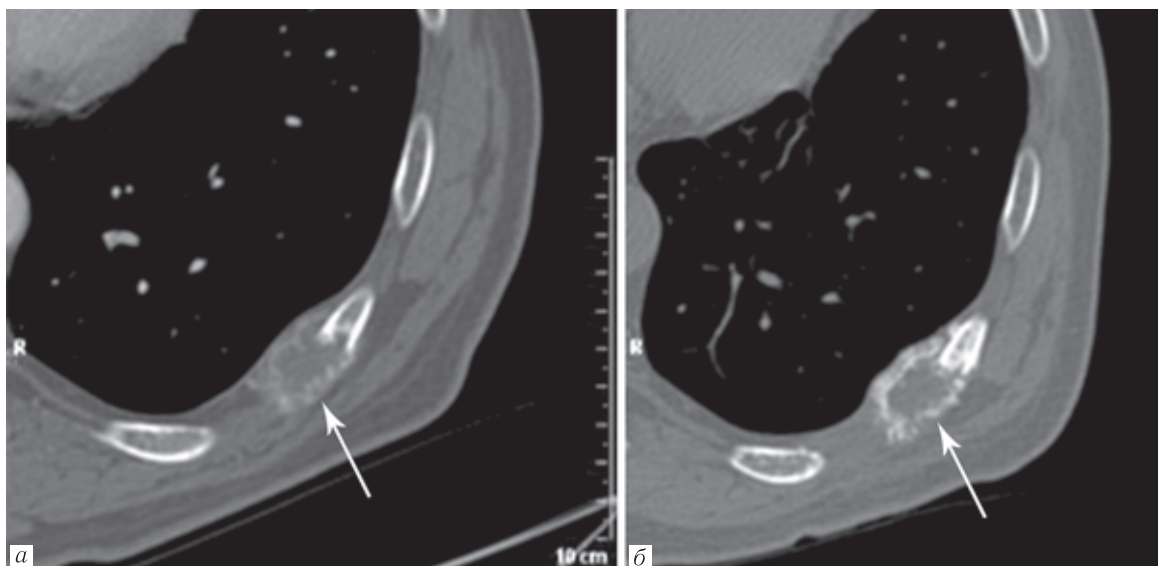
Пациент К., 64 лет, диагноз: рак нижней доли левого легкого T3N1M0. Торакотомия слева, нижняя лобэктомия от 2016 г. Прогрессирование, метастазы в кости и головной мозг от 2017 г. Состояние на фоне ПХТ.

Больной предъявлял жалобы на выраженный болевой синдром в области грудной стенки. При КТ определялся очаг деструкции в восьмом левом ребре 35×22×21 мм (рис. 1, а).

С целью купирования болевого синдрома принято решение о выполнении КА в паллиативном режиме. Операция проводилась под местной анестезией. С учетом неглубокого расположения опухоли для установки кризондов был выбран последовательный режим КТ-навигации.

Периодически выполняя КТ-сканы для оценки положения инструментов в очаг опухолевой деструкции сначала установлены интродьюсеры со стилетами, позже последние были заменены на два кризонда диаметром 3 мм (рис. 2).

Проведено два цикла КА продолжительностью 8 и 5 мин. На следующий день после операции пациент отметил выраженное уменьшение болевого синдрома. В дальнейшем при контрольном сканировании через 6 мес после операции признаков продолженного роста выявлено не было, отмечалось



**Рис. 1.** КТ-изображения пациента К. Очаг деструкции в заднебоковом отрезке VIII левого ребра до (а) и через 6 мес после (б) криоабляции (стрелки)

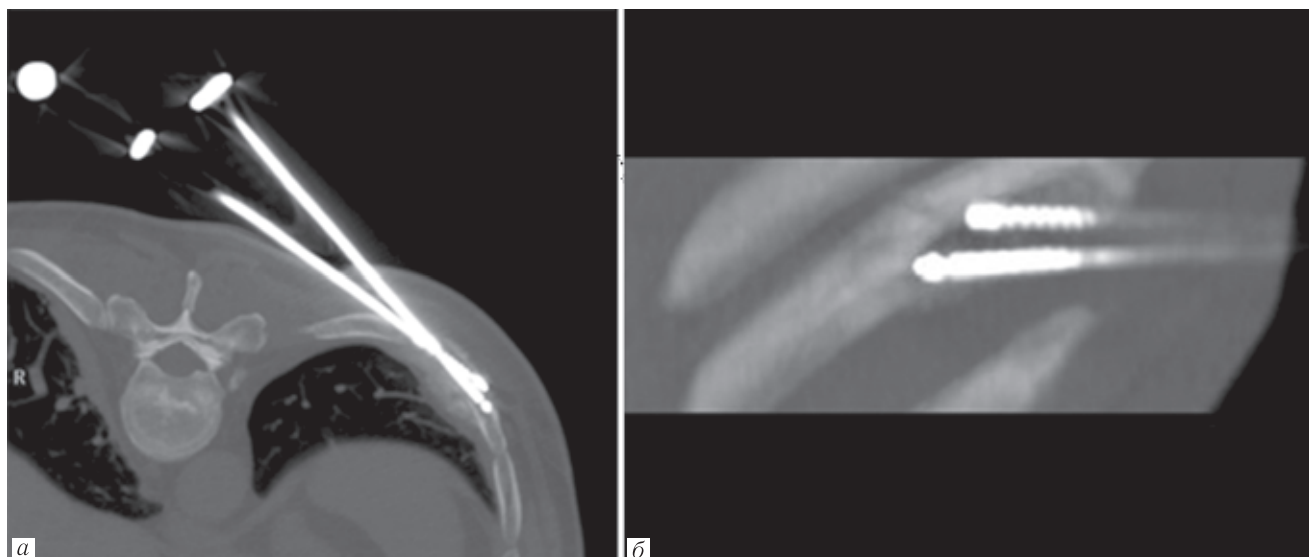
**Fig. 1.** CT images of patient K. The lesion in the posterolateral segment of the VIII left rib before (a) and 6 months after cryoablation (arrows)

В 11 случаях после КА опухоли почки были выявлены гематомы в периренальной клетчатке, впоследствии разрешившиеся консервативно. В одном случае КА опухоли легкого развилось кровотечение

незначительное нарастание остеосклероза по периферии очага (рис. 1, б).

Как продемонстрировано клиническим наблюдением, в случае относительно низкой вероятности





**Рис. 2.** КТ-изображения пациента К. Кризонды, установленные в очаг деструкции VIII левого ребра: *а* — аксиальная плоскость; *б* — MPR-реформация во фронтальной плоскости

**Fig. 2.** CT images of patient K. Cryoprobes installed in the lesion of the VIII left rib: *a* — axial plane; *б* — MPR-reformation in the frontal plane

повреждения органов при установке кризондов, возможности многократной безопасной коррекции их положения оптимальным является последовательный режим КТ-контроля, так как он позволяет избежать необоснованного облучения врача.

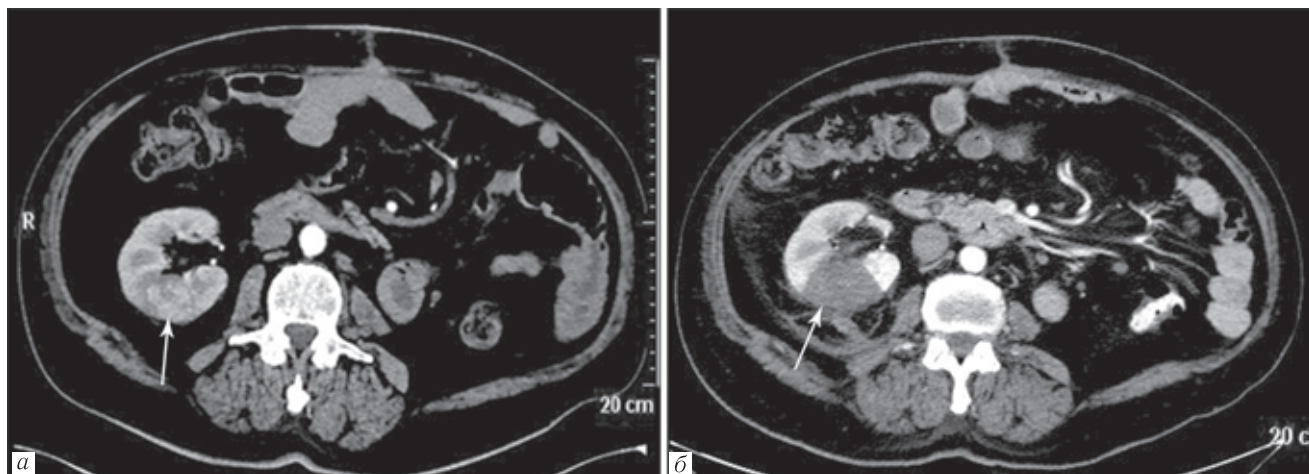
#### Клиническое наблюдение № 2

Пациент В., 74 года, диагноз: рак левой почки T2N0M0. Резекция левой почки от 2011 г. Прогрессирование, метастазы в легких от 2017 г. Метастазэктомия из легких от 2017 г. Метахронный рак правой почки T1NxMx от 2019 г.

При предоперационном КТ-сканировании в правой почке определялась интрапаренхиматозная

удалением правой почки, принято решение о выполнении КА.

С учетом размеров образования для формирования ледяной сферы нужного диаметра запланировано введение трех кризондов. С целью отчетливой визуализации образования на этапе КТ навигации введено 50 мл неионного контрастного вещества. При этом с учетом быстрого вымывания контраста из новообразования для динамического контроля положения кризондов предпочтение отдано методике КТ-флюороскопии. В опухоль установлены три кризонда диаметром 3 мм (рис. 4). Выполнено два цикла КА продолжительностью 9 и 5 мин.

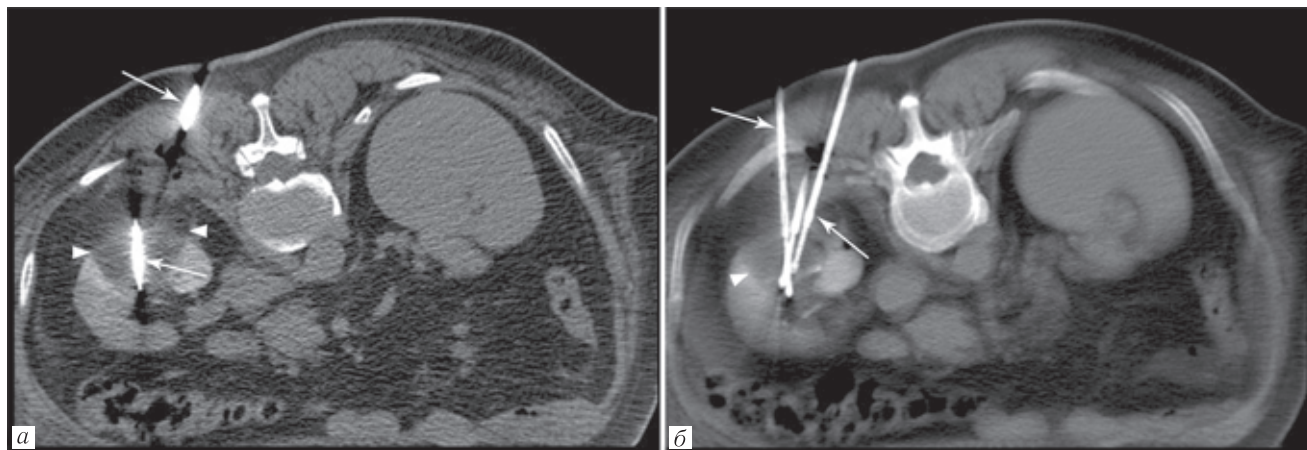


**Рис. 3.** Компьютерные томограммы пациента В.: *а* — опухоль в правой почке (стрелка); *б* — аваскулярная криоабляция в правой почке через сутки после процедуры (стрелка)

**Fig. 3.** CT images of patient B: *a* — tumor in the right kidney (arrow); *б* — avascular cryoablation area in the right kidney in a day after procedure (arrow)

гиперваскулярная опухоль размерами 35×30×35 мм (рис. 3, *а*). В связи с оперированной левой почкой и высоким риском того, что традиционное хирургическое вмешательство может завершиться полным

При контрольном сканировании с внутривенным контрастированием через сутки после операции в зоне криодеструкции определялась аваскулярная область, полностью перекрывавшая первоначаль-



**Рис. 4.** Компьютерные томограммы пациента В. Контроль криоабляции опухоли правой почки: *а* — срез толщиной 2 мм; *б* — реконструкция толщиной 40 мм. Криозонды, установленные в опухоль (стрелки). Границы ледяной сферы (головки стрелок)  
**Fig. 4.** CT images of patient B. Monitoring of cryoablation of the tumor in the right kidney: *a* — 2 mm slice; *б* — reconstruction 40 mm slice. Cryoprobe installed in the tumor (arrows). Boundaries of the icesphere (arrowheads)

ную опухоль и незначительно превосходящая ее по размеру (рис. 3, б).

Таким образом, применение КТ-флюороскопии в качестве способа навигации инструментов позволило точно и быстро установить одновременно нескольких криозондов в опухоль. При этом высокая точность позиционирования инструментов не только явилась фактором радикальности операции, но и позволила максимально сохранить паренхиму органа.

### Клиническое наблюдение № 3

Пациент М., 67 лет. В 2018 г. установлен диагноз: светлоклеточный рак левой почки. При КТ в средней трети почки по задней поверхности выявлялась опухоль 40×34×35 мм (рис. 5, а). Также определялся опухолевый тромб в притоке почечной вены протяженностью 33 мм (рис. 5, б). В связи с выраженной сопутствующей патологией, явившейся абсолютным противопоказанием к традиционному хирургическому вмешательству, в декабре 2018 г. проведена чрескожная КА опухоли под ультразвуковым контролем. При контрольном сканировании через месяц после операции основная масса опухоли представлялась девитализированной (рис. 5, в), однако сохранялось накопление контрастного препарата в опухолевом тромбе (рис. 5, г). Учитывая локализацию остаточной опухоли в синусе почки, принято решение о проведении повторного сеанса криоабляции с робот-ассистированной навигацией инструментов.

После предоперационного сканирования с помощью программного обеспечения роботизированной приставки выполнено моделирование зоны абляции с оптимальным расположением двух криозондов. Последовательно введены два интродьюсера со стилями, далее последние заменены на криозонды Медицинской криотерапевтической системы (рис. 6). Проведено два цикла криоабляции длительностью 10 и 6 мин. После извлечения криозондов и в послеоперационном периоде осложнений процедуры не отмечалось.

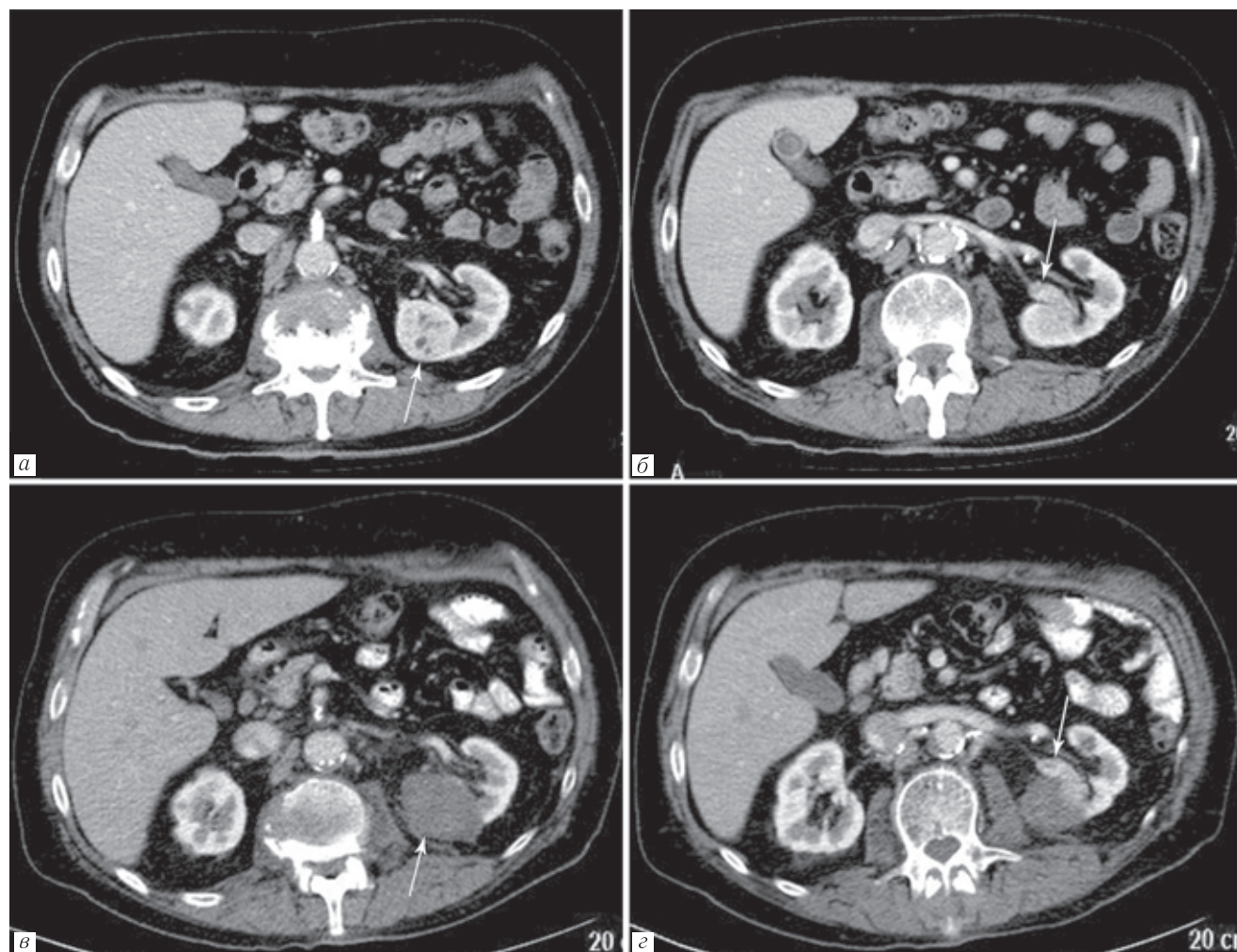
При контрольном КТ-сканировании с внутривенным контрастированием через 6 мес после КА в почке определяется гиповаскулярная послеоперационная зона без признаков рецидива (рис. 7).

Как продемонстрировано клиническим наблюдением, применение навигационной роботизированной системы позволило позиционировать криозонды в опухоль, локализовавшуюся непосредственно в почечном синусе. Подобная точность установки инструментов, отсутствие необходимости коррекции их положения способствовали предотвращению повреждения элементов почечной ножки.

При проведении чрескожной пункционной КА опухоли, как и при выполнении других миниинвазивных вмешательств, ключевым фактором успеха является прецизионное позиционирование нужного количества зондов в новообразование. Для этого на этапе введения инструмента необходима четкая визуализация взаиморасположения криозонда, опухоли и соседних анатомических структур. Второе обязательное условие эффективности КА — возможность наглядного мониторинга процесса формирования ледяной сферы, что, с одной стороны, позволяет убедиться в полноте криовоздействия на всю массу опухоли, а с другой — осуществлять контроль возможного низкотемпературного повреждения соседних анатомических структур. Также при выборе способа навигации учитывается доступность и безопасность лучевой модальности.

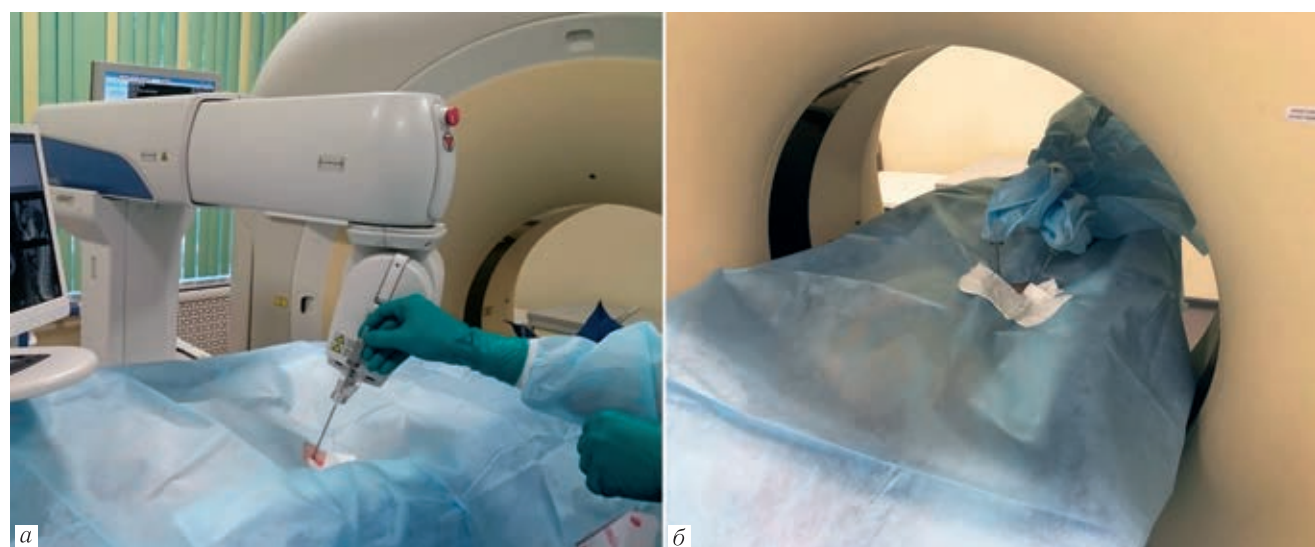
УЗИ широко используется при пункционной КА относительно поверхностно располагающихся опухолевых образований в мягких тканях благодаря своей широкой доступности, низкой себестоимости, безопасности и возможности визуализации криозонда на этапе его установки [10]. В то же время применение эхографии ограничено недостаточно четким отображением удаленной от поверхности тела пациента части ледяного шара, а также возможным его экранированием газосодержащими и костными структурами.





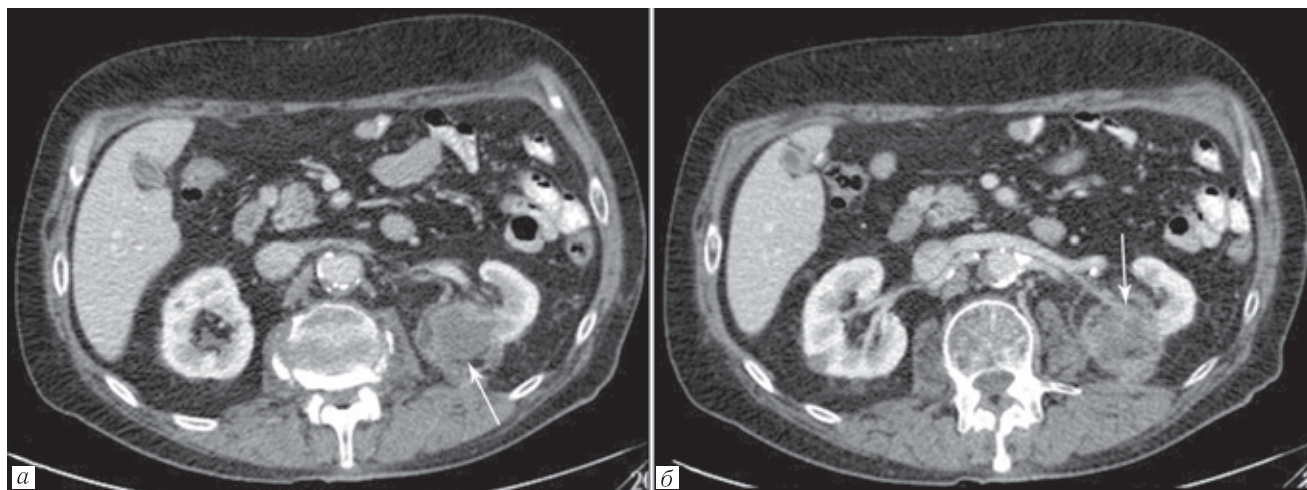
**Рис. 5.** КТ-изображения пациента М.: *а* — опухоль в левой почке (стрелка); *б* — опухолевый тромб в притоке почечной вены (стрелка); *в* — аваскулярная область в почке в проекции опухоли через месяц после криоабляции (стрелка); *г* — опухолевый тромб в притоке почечной вены с сохранившейся перфузией

**Fig. 5.** CT images of patient M: *a* — tumor in the left kidney (arrow); *б* — tumor thrombus in the segmental renal vein (arrow); *в* — avascular area in the kidney in the projection of the tumor in a month after cryoablation (arrow); *г* — tumor thrombus segmental renal vein with preserved perfusion



**Рис. 6.** *а* — Этап установки стилета через направляющую в руке-манипуляторе роботизированной системы; *б* — расположение кризондов при криоабляции опухоли почки

**Fig. 6.** *a* — The stylet positioning with the manipulator arm of a robotic system; *б* — the location of the cryoprobes during cryoablation of a kidney tumor



**Рис. 7.** КТ-изображения пациента М.: *а* — аваскулярная область в почке в проекции опухоли через 6 мес после криоабляции (стрелка); *б* — аналогичная область в проекции опухолевого тромба (стрелка)

**Fig. 7.** CT images of patient М.: *a* — avascular area in renal tumor projection in 6 months after cryoablation (arrow); *b* — similar area in tumor thrombus projection (arrow)

МРТ позволяет наиболее эффективно контролировать распространение ледяного фронта, как и УЗИ, не сопровождается лучевой нагрузкой на пациента и персонал. Однако при использовании этого метода требуются амагнитные инструменты и аппаратура, значительно возрастают себестоимость и длительность интервенционных процедур [11].

Как было продемонстрировано в работе, КТ представляется сбалансированным способом лучевого мониторинга, позволяющим эффективно контролировать как этап навигации инструментов, так и сам процесс криодеструкции. К ограничениям КТ при проведении чрескожных вмешательств прежде всего стоит отнести лучевую нагрузку, сложность выполнения операции у тучных пациентов, занимающих большую часть апертуры гентри, трудность установки инструментов при их значительном отклонении от аксиальной плоскости сканирования [12, 13]. В то же время, по нашему опыту, в зависимости от конкретной клинической ситуации, с учетом локализации опухоли, сложности траектории введения криозондов, риска травматического повреждения внутренних органов может быть выбран тот или иной оптимальный способ КТ контроля.

Так, использование последовательного режима КТ навигации обосновано при прохождении траектории криозонда в плоскости сканирования и при относительно поверхностно расположенных опухолях, когда риск повреждения внутренних органов низкий. Более глубоко локализующиеся новообразования, особенно вблизи крупных сосудов или активно смещающиеся при дыхании, требуют более точной установки инструментов. КТ-флюороскопия является наиболее визуально контролируемым вариантом КТ навигации, так как позволяет вести мониторинг продвижения иглы в режиме реального времени. Динамическое изменение направления введения инструмента обеспечивает меньший риск повреждения органов, крупных сосудов и нервов, а также

уменьшает время операции. Однако серьезным фактором, ограничивающим применение КТ-флюороскопии, является нахождение врача в зоне воздействия ионизирующего излучения. При этом если для конкретного пациента лучевая нагрузка относительно невелика, то для здоровья врача, регулярно выполняющего подобные процедуры, кумулятивный эффект облучения может представлять угрозу. Наконец, рассмотренный в работе робот-ассистированный способ КТ навигации позволяет избежать облучения медицинского персонала за счет установки криозондов по заранее спланированной траектории. Применительно к методу КА преимуществом такого подхода также является возможность одновременного позиционирования нескольких зондов различного диаметра, что обеспечивает формирование зоны абляции нужного размера и конфигурации. В то же время вызывает определенные опасения то обстоятельство, что процесс введения интродьюсера со стилетом происходит по сути «вслепую», а контроль положения инструментов выполняется только после их окончательной установки. Теоретически возможно отклонение траектории введения иглы, которая может быть связана, например, с актом дыхания или случайным незначительным изменением положения тела пациента. Однако, как показал опыт применения этой технологии, в нашем исследовании подобных случаев не наблюдалось.

Известно, что границы ледяного шара при КА могут не совпадать в полной мере с зоной крионекроза. Так, в серии исследований на животных было продемонстрировано, что девитализация эпителия почечных канальцев возникает при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ , изотерма которой определяется на расстоянии 3 мм кнутри от видимой границы ледяной сферы [14–17]. Однако некоторые опухолевые клетки более устойчивы к низкотемпературному воздействию и погибают при температуре  $-40^{\circ}\text{C}$  на расстоянии 5–6 мм кнутри от края ледяного фронта



[18]. В связи с этим для снижения риска рецидива некоторые исследователи рекомендуют обеспечить формирование ледяного шара, распространяющегося за край опухоли на 5 мм [19]. По другим данным, в подавляющем числе случаев вполне достаточно 1,5 мм [20]. В целом очевидно, что точное определение границы замораживания является важным фактором прогноза эффективности абляции. Тот факт, что КТ мониторинг позволяет отчетливо визуализировать ледяную сферу в случае мягкотканых образований, сопоставить до- и интраоперационные изображения и, таким образом, количественно оценить глубину распространения ледяного фронта за край опухолевого образования на всех его уровнях, наглядно демонстрирует обоснованность использования КТ как метода контроля КА.

**Заключение.** Компьютерная томография является эффективным методом мониторинга навигации

инструментов при криоабляции опухолей различной локализации.

В зависимости от количества устанавливаемых кризондов, траектории их введения, локализации и размеров новообразования, риска повреждения соседних органов, технической оснащенности и опыта оператора может быть выбран оптимальный метод КТ-контроля — последовательный режим, режим КТ-флюороскопии или робот-ассистированный вариант навигации.

Компьютерная томография позволяет отчетливо визуализировать ледяную сферу и осуществлять контроль распространения ледяного фронта в мягких тканях. При криоабляции образований в костях без мягкотканного компонента время холодового воздействия может быть определено эмпирически или путем установки термопар паракостально на уровне очага поражения.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Hoffmann R., Rempp H., Keßler D.-E. et al. MR-guided microwave ablation in hepatic tumours: initial results in clinical routine // *Eur. Radiol.* 2017. Vol. 27, No. 4. P. 1467–1476. DOI: 10.1007/s00330-016-4517-x.
- Yu J., Liang P., Yu X.-L. et al. Us-guided percutaneous microwave ablation versus open radical nephrectomy for small renal cell carcinoma: intermediate-term results // *Radiology.* 2014. Vol. 270, No. 3. P. 880–887. DOI: 10.1148/radiol.13130275.
- Chen J.B., Li J.L., He L.H. et al. Radical treatment of stage IV pancreatic cancer by the combination of cryosurgery and iodine-125 seed implantation // *World J. Gastroenterol.* 2012. Vol. 18. P. 7056–7062. DOI: 10.3748/wjg.v18.i47.7056.
- Беляев А.М., Прохоров Г.Г., Буровик И.А. и др. Мининвазивная пункционная криоабляция опухолей мягких тканей в паллиативной медицине // *Паллиативная медицина и реабилитация.* 2019. Т. 1. С. 12–18. [Belyaev A.M., Prokhorov G.G., Burovik I.A. et al. Minimally invasive puncture cryoablation of soft tissue tumors in palliative medicine // *Palliative medicine and rehabilitation.* 2019. Vol. 1. P. 12–18 (In Russ.).]
- Erinjeri J.P., Clark T.W.I. Cryoablation: mechanism of action and devices // *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2010. Vol. 21, No. 8. P. 187–191. DOI: 10.1016/j.jvir.2009.12.403.
- Bhagavatula S., Shyn P.B. Image-guided renal interventions // *Radiol. Clin. North Am.* 2017. Vol. 55, No. 2. P. 359–371. DOI: 10.1016/j.rcl.2016.10.013.
- Callstrom M.R., Kurup A.N. Percutaneous ablation for bone and soft tissue metastases — why cryoablation? // *Skeletal Radiology.* 2009. Vol. 38, No. 9. P. 835–839. DOI: 10.1007/s00256-009-0736-4.
- Sabel M.S. Cryo-immunology: a review of the literature and proposed mechanisms for stimulatory versus suppressive immune responses // *Cryobiology.* 2009. Vol. 58. P. 1–11. doi: 10.1016/j.cryobiol.2008.10.126
- Rovere-Querini P., Manfredi A.A. Tumor destruction and in situ delivery of antigen presenting cells promote anti-neoplastic immune responses: implications for the immunotherapy of pancreatic cancer // *J.O.P.* 2004. Vol. 5. P. 308–314.
- Буровик И.А., Прохоров Г.Г., Лушина П.А. и др. Робот-ассистированные чрескожные вмешательства под КТ-контролем: первый опыт // *Медицинская визуализация.* 2019. Т. 2. С. 27–35. [Burovik I.A., Prokhorov G.G., Lushina P.A. et al. Robot-assisted percutaneous interventions under CT control: the first experience // *Medical visualization.* 2019. Vol. 2. P. 27–35 (In Russ.).]
- Lipnik A.J., Brown D.B. Image-Guided Percutaneous Abdominal Mass Biopsy: Technical and Clinical Considerations // *Radiol. Clin. North Am.* 2015. Vol. 53, No. 5. P. 1049–1059. DOI: 10.1016/j.rcl.2015.05.007.
- Bhagavatula S.K., Lane J., Shyn P.A. Radiologist's View of Tumor Ablation in the Radiology Suite // *Anesthesiol. Clin.* 2017. Vol. 35, No. 4. P. 617–626. DOI: 10.1016/j.anclin.2017.07.007.
- Carberry G.A.I., Lubner M.G., Wells S.A. et al. Percutaneous biopsy in the abdomen and pelvis: a step-by-step approach // *Abdom. Radiol.* 2016. Vol. 41, No. 4. P. 720–742. DOI: 10.1007/s00261-016-0667-1.
- Uchida M., Imaide Y., Sugimoto K. et al. Percutaneous cryosurgery for renal tumours // *Br. J. Urol.* 1995. Vol. 75. P. 132–136. DOI: 10.1111/j.1464-410X.1995.tb07297.x.
- Chosy S.G., Nakada S.Y., Lee F.T. et al. Monitoring renal cryosurgery: predictors of tissue necrosis in swine // *J. Urol.* 1998. Vol. 159. P. 1370–1374. DOI: 10.1016/S0022-5347(01)63618-8.
- Gage A.A., Baust J. Mechanisms of tissue injury in cryosurgery // *Cryobiology.* 1998. Vol. 37. P. 171–186. DOI: 10.1006/cryo.1998.2115.
- Campbell S.C., Krishnamurthi V., Chow G. et al. Renal cryosurgery: experimental evaluation of treatment parameters // *Urology.* 1998. Vol. 52. P. 29–33. DOI: 10.1016/S0090-4295(98)00169-1.
- Baust J., Gage A.A., Ma H., Zhang Z.M. Minimally invasive cryosurgery technology advances // *Cryobiology.* 1997. No. 34. P. 373–384. DOI: 10.1006/cryo.1997.2017.
- Allen B.C., Remer E.M. Percutaneous cryoablation of renal tumors: patient selection, technique, and postprocedural imaging // *Radiographics.* 2010. Vol. 30. P. 887–900. DOI: 10.1148/rg.304095134.
- Benjamin H.G., Thomas J.G., Gregory J.N. et al. Percutaneous Renal Cryoablation: Short-Axis Ice-Ball Margin as a Predictor of Outcome // *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2016. Vol. 27, No. 3. P. 403–409. DOI: 10.1016/j.jvir.2015.11.035.

Поступила в редакцию / Received by the Editor: 02.06.2019 г.

### Сведения об авторах:

**Буровик Илья Александрович** — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог, научный сотрудник научного отделения диагностической и интервенционной радиологии федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; e-mail: burovick\_ilya@mail.ru; SPIN 1923-6457 ORCID 0000-0002-4714-1228;

**Прохоров Георгий Георгиевич** — доктор медицинских наук, профессор, врач-онколог, ведущий научный сотрудник научного отделения общей онкологии и урологии федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н. Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный, Ленинградская ул., д. 68; e-mail: gprokhorov@mail.ru; SPIN 9166-4705 ORCID 0000-0001-9015-3817.